

# 云南松林的林冠对土壤侵蚀的影响<sup>\*</sup>

周 跃<sup>1</sup> 李宏伟<sup>2</sup> 徐 强<sup>3</sup>

(1 云南省地理研究所 昆明 650223; 2 云南省林业调查规划设计院 云南昆明 650051;

3 云南师范大学地理系 云南昆明 650223)

**提 要** 研究发现滇西北高山峡谷区云南松也具有通过林冠截流减少有效雨量和降低雨滴对地表的滴溅能量,减少降雨对土壤的侵蚀程度。产生较大直径的叶滴并引起林冠滴溅效应。云南松林冠在整个雨季截留率平均达 36.29%,使林下有效降雨量仅为降雨量的 63.71%。松林在整个雨季的林下溅蚀累积总量为 4.94 kg/m<sup>2</sup>,裸地为 6.12 kg/m<sup>2</sup>,表明松林减少了 19.28%的溅蚀总量。但林地雨季中后期的各阶段溅蚀总量却高于裸地,特别在后期高出裸地 2.6 倍。

**关键词** 高山峡谷 云南松林 林冠截流 溅蚀控制

**分类号** 《中图法》S157 **文献标识码** A

降雨是引起土壤侵蚀的一个重要因素。它能够向地表提供侵蚀水动力条件,同时还直接产生土壤溅蚀。当发生强度降雨时,地面单位时间内单位面积上降下的水量较多,对表土的滴溅能量较大,因而产生大量的地表径流和被滴溅的土壤颗粒,导致严重的土壤流失。在发育良好的林地,树冠拦截落下的雨滴,减少有效雨量和滴溅能量,降低降雨对土壤的侵蚀能力,以不同方式保护林下土壤。另一方面,林冠在截留降雨后,使雨水有机会在叶面上汇集产生较大直径的叶滴。它们在下落到地面时有较大的动量滴溅土壤,引起林冠滴溅,潜在地增加溅蚀量。

云南松林(*Pinus yunnanensis* French.)是中国西南山地的主要森林类型之一,也是长江上游地区水土保持的重要防护林树种。在滇西北高山峡谷区成熟云南松密林高达 10 m~13 m,林冠密度可达 90%,厚度 8 m~11 m。由于具有这些特点,云南松密林对控制林下土壤侵蚀可能有一定的作用。为了证实这一假设并确定其量值,我们在滇西北的虎跳峡地区于 1993 年进行了一系列的野外实验,并与裸地相比较,讨论云南松密林的这种作用。

## 1 研究方法

我们在峡谷中断选择了野外实验点,海拔 2 380 m,坡度 30°~34°,坡向 NE,土壤为亚热带山地红壤。在实验点各精心选取了 3 个样方,其中两个在林内(20 m×20 m),一个在裸地(10 m×10 m)。林地样方林冠密集,林下草灌植物很少,仅有的也在安置仪器时被小心清除。裸地样方靠近林地,曾经是林地的一部分,少量的灌草植物同样也被清除。两类样方的坡度、坡向和土壤状况等自然条件基本相似。

根据 Ward 和 Robinson<sup>[1]</sup>,首先测量降雨量( $P$ ),林冠流量( $T_F$ )和树干径流( $S_F$ ),然后按公式(1)、(2)可计算出截留损失( $I_C$ )和截留率( $I_R$ )

$$I_C = P - (T_F + S_F) \tag{1}$$

$$I_R = I_C / P \tag{2}$$

<sup>\*</sup>基金项目:国家自然科学基金(编号:4921003,49871054)、云南省应有基础研究基金资助(编号:98D007M)、云南省科委主任基金(编号:97D00612)、国家教委留学回国人员科研启动基金和中英文化协会联合资助项目。

赵魁义研究,方昌、何池全博士研究生参加野外工作,特此致谢。

收稿日期:1999-01-06 改回日期:1999-02-28 Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中  $T_F$  采用随机安放在每一个林地样方内的 7 个雨量筒测量, 雨量筒每隔一段时间更换一次位置。 $S_F$  采用螺旋槽技术测量, 林地样方内选用了标准木 9 棵;

$P$  采用自动的和普通的雨量筒观测, 每天的降雨强度用当天的最大强度来代表, 以 mm/h 为单位。

本研究采用的溅蚀观测装置是在 Morgan<sup>[2]</sup> 的滴溅杯基础上经过改进得到的不对称滴溅杯(图 1)。1. 杯壁从 Morgan 设计的 10 cm 提高到 15 cm; 2. 在杯壁向下坡向一侧又加了一个不对称壁, 目的是防止在陡坡上土壤颗粒被从杯中滴溅出去。滴溅杯随机安置在松林(8 个)、草地(1 个)和裸地(3 个)样方内。在嵌入表层土时尽可能不破坏杯内土壤芯的土壤结构。在雨季的不同阶段之间, 或每 35d 收集一次冲溅的土壤颗粒。在雨季中期所有滴溅杯挪动一次位置。三种样方的溅蚀量是每种样方中所有滴溅杯测得溅蚀量的算术平均值。

2 结果分析

虎跳峡地区属于亚热带高原季风气候, 雨季通常在每年 6~10 月。1993 年观测到整个雨季的降雨情况分为三个阶段(表 1)。每两阶段之间至少有 5 d 没有雨。雨季早期降雨分散但强度最高, 中期降雨强烈且频繁, 后期降雨强度低但仍较频繁。

表 1 1993 年雨季的降雨情况  
Table 1 Rain profile in the rainy season in 1993

| 雨期 | 持续期间<br>及日数(d)         | 累积降雨<br>(mm) | 占总雨量<br>比例(%) | 降雨日数<br>(d) | 降雨强度<br>最大/平均(mm/h) | 平均雨强超过 8<br>(mm/h) 的雨日 |
|----|------------------------|--------------|---------------|-------------|---------------------|------------------------|
| 早期 | 6 月 1 日~7 月 20 日, 50   | 112.6        | 15.37         | 13          | 33.2 / 7.6          | 5                      |
| 中期 | 7 月 21 日~8 月 16 日, 58  | 530.6        | 71.77         | 41          | 16.8 / 4.6          | 4                      |
| 晚期 | 9 月 17 日~10 月 15 日, 29 | 96.8         | 12.86         | 17          | 8.2 / 2.5           | 1                      |
| 总计 | 6 月 1 日~10 月 15 日, 137 | 740.0        | 100           | 71          | 10                  |                        |

2.1 林冠截流

在整个雨季, 云南松林冠截留损失是 268.53 mm, 受其影响, 林地地面的实际降雨, 或有效降雨( $p'$ ,  $p' = T_F + S_F$ ) 只有 471.46 mm, 约占总降雨量的 63.71 % (表 2)。在每一降雨阶段, 截留损失  $I_C$  随相应的降雨特征而变化: 在降雨频繁而强烈的雨季中期最高, 为 174.34 mm; 在高强度但低频率的降雨早期最低, 为 41.65 mm。根据逐日观测,  $T_F$  和  $S_F$  与  $P$  具有  $Y = aX + b$  的线形关系( $T_F$  与  $P$  的相关系数是 0.937,  $S_F$  和  $P$  为 0.748)。这种线性关系模式与苏格兰松 (*P. sylvestris* L.)、辐射松 (*P. radiata* D. Don) 等其它针叶林的情况相似<sup>[3]</sup>。

表 2 1993 年各降雨期云南松林的林冠截留  
Table 2 Canopy interception of the Yunnan pine forest in the rain season in 1993

| 雨期 | 降雨<br>(mm) | 冠流量    |       | 干流量  |      | 截留量<br>(mm) | 截流率<br>(%) |
|----|------------|--------|-------|------|------|-------------|------------|
|    |            | (mm)   | (%)   | (mm) | (%)  |             |            |
| 早期 | 112.6      | 70.66  | 62.75 | 0.30 | 0.27 | 41.65       | 36.99      |
| 中期 | 530.6      | 353.52 | 66.62 | 2.77 | 0.52 | 174.34      | 32.86      |
| 晚期 | 96.8       | 43.90  | 45.37 | 0.31 | 0.32 | 52.54       | 54.31      |
| 总计 | 740.0      | 468.08 | 63.25 | 3.38 | 0.46 | 268.53      | 36.29      |

云南松林在整个雨季的截留率( $I_R$ ) 为 36.29 % (表 2)。在各降雨阶段,  $I_R$  最高为 54.31%, 发生在

降雨较多但强度较低的雨季晚期。降雨频繁的中期,  $IR$  下降到 32.86%。与截留损失不同, 截留率  $I_R$  与降雨量  $P$  和降雨强度  $I$  呈负相关关系(图 2)。

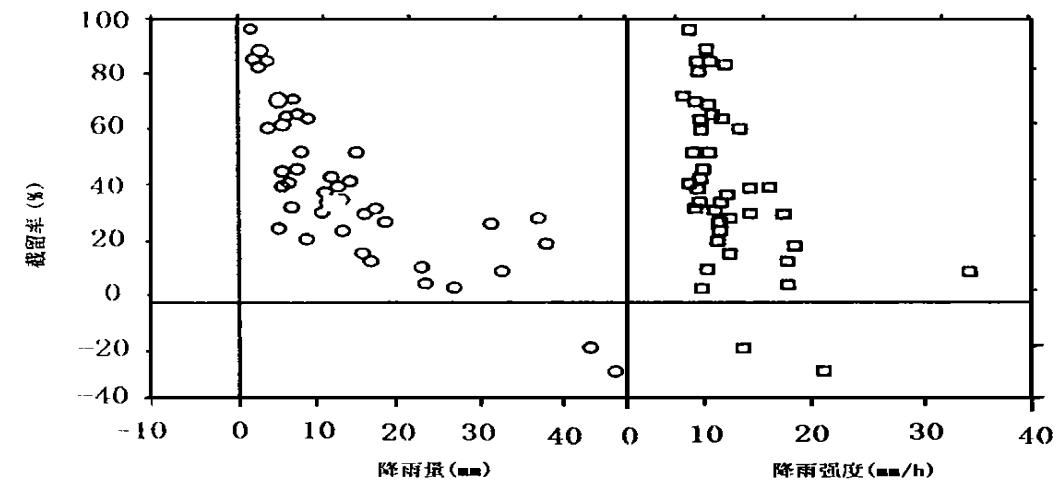


图 2 1993 年截流率与降雨量(用圆圈表示)和降雨强度(用方框表示)的关系  
Fig. 2 Relationships of interception rate with rainfall (indicated by circles) and rain density in 1993

2.2 林冠对溅蚀的影响

观测结果表明, 林地和裸地中的溅蚀量随降雨的持续而逐渐积累起来, 但增加方式不同(表 2)。就累积量而言, 林地的全量(向下坡和向上坡两个方向的溅蚀量总和)总是低于裸地, 前者为 4.94 kg/ m<sup>2</sup>, 后者 6.12 kg/ m<sup>2</sup>, 表明松林减少了 19.28 %的溅蚀全量。净量(向下溅蚀量减去向上坡溅蚀量的差)在两种情况下均是正数, 表明

由于坡度较大, 向下冲溅的土壤颗粒较多。然而, 林地溅蚀净量在雨季中期和后期超过了裸地。这样的结果, 即裸地相对高的溅蚀全量但相对低的溅蚀净量和林地相对高的溅蚀净量但相对低的溅蚀全量, 表明林地向下冲溅迁移的土壤颗粒多于裸地。

表 2 1993 年降雨量和溅蚀累积量

Fig. 2 Rainfall and accumulated splash detachment in 1993

| 雨期 | 降雨<br>(mm) | 林地 (kg/ m <sup>2</sup> ) |       | 裸地 (kg/ m <sup>2</sup> ) |       |
|----|------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
|    |            | 全量                       | 净量    | 全量                       | 净量    |
| 早期 | 112. 6     | 0. 81                    | 0. 32 | 2. 75                    | 1. 21 |
| 中期 | 643. 2     | 3. 87                    | 2. 20 | 5. 71                    | 2. 11 |
| 晚期 | 740. 0     | 4. 94                    | 2. 96 | 6. 12                    | 2. 24 |

比较整个雨季不同时期的各阶段溅蚀全量可以发现, 在早期(降雨分散但强度最高)林地的溅蚀全量明显低于裸地(表 3); 在中期(降雨强烈而频繁)林地的阶段全量超过了裸地; 到了后期(强度低但仍然频繁), 林地的阶段全量是裸地的 2.6 倍。

表 3 1993 年降雨各阶段的降雨特点和分阶段的溅蚀全量  
Table 3 Characteristics of rainfall at each rain stage and the corresponding splash amount in 1993

| 雨期 | 降雨量<br>(mm) | 冠流量<br>(mm) | 截留率<br>(%) | 平均雨强<br>(mm/h) | 降雨日<br>(d) | 林地<br>(kg/ m <sup>2</sup> ) | 裸地<br>(kg/ m <sup>2</sup> ) |
|----|-------------|-------------|------------|----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 早期 | 112. 6      | 72. 16      | 36. 99     | 7. 62          | 13         | 0. 81                       | 2. 75                       |
| 中期 | 530. 6      | 436. 52     | 32. 86     | 4. 58          | 41         | 3. 06                       | 2. 96                       |
| 晚期 | 96. 8       | 53. 57      | 54. 31     | 2. 51          | 16         | 1. 07                       | 0. 41                       |
| 总计 | 740. 0      | 490. 09     | 36. 29     |                | 71         | 4. 94                       | 6. 12                       |

从表 3 可以发现, 溅蚀全量与降雨特点和覆被状况有密切关系。裸地的溅蚀全量在高强度降雨期

尤为突出,到了集中降雨期则更高,但在小雨期较低。受树冠的影响,林地的溅蚀情况比较复杂;在降雨强度最高的降雨早期,其全量在整个雨季中最低;集中降雨期的中期到来时,其全量达到了整个雨季的高峰;在低强度降雨的晚期,其全量分别比裸地和草地高 2.6 倍和 5.4 倍,也比其在早期高出 32%。

3 讨 论

3.1 关于林冠截留

实验结果表明,虎跳峡云南松密林的截留率相对较高<sup>[3]</sup>。这一较高的数值与松林的树冠特点、针叶较多的雨水附着面积和研究地区多风的特点有关。一般情况下,针叶树都可以截留较多的降雨<sup>[1]</sup>,因为树冠层开放疏散的针叶利于空气自由循环,利于滞留的水份蒸发;多风使林冠内外的空气交换率提高,加速了叶面蒸发,林冠截留的降雨量也就更多。由于云南松林的针叶林冠具有开放疏散的结构特点,提高了蒸发率。虎跳峡内雨季各月的平均风速为 1.4 m/s~1.6 m/s 最高为 8.1 m/s 6~9 月间频繁记录到每天最高超过 6 m/s 的风速<sup>[3]</sup>。这样的风促进了被林冠截留的雨水从针叶上蒸发,减少树冠上滞留的水份,推迟了林冠到达截留蓄水极限的时间,使得更多的雨水被截留吸收,因而提高了截留率。另外,松林较高的林冠密度是其较高截留率的又一原因。虎跳峡地区云南松密林的林冠密度在 90% 左右,与雨滴接触的枝叶表面积更多,能够截留的雨水就更多。

3.2 关于林冠叶滴溅蚀

根据观测结果,尽管林地分阶段的溅蚀全量数值高、增幅快,就整个雨季来讲,林下土壤溅蚀总量低于裸地,反映了松林对于减少土壤溅蚀的净效应(表 2)。但是,松林同时也通过形成大尺寸水滴产生叶滴溅蚀而带来了一定的负面影响。在降雨比较强烈的雨季早期和中期,因为在针叶上形成的水滴会被快速落下的雨滴击碎并成小水珠落下,林下形成大水滴的机会不多,叶滴溅蚀作用不明显。中期以后特别是在后期,雨量充分但强度减弱,林冠截留小雨滴并使其在针叶上重新聚会形成比未经截留的雨滴要大得多的下落水滴。这些大水滴的冲溅能量较大,与雨滴联合作用,冲溅土壤表面,导致林地的分阶段溅蚀全量在中期超过了裸地,后期则两倍于裸地(表 3)。Chapman<sup>[4]</sup>和 Schottman<sup>[5]</sup>也曾发现,松林下的水滴冲溅动能高于裸地,林下溅蚀较强。实际上,松林的叶滴溅蚀作用可以直接观察到。在雨季后期,经常可以看到裸地上接受着“毛毛雨”,滴溅不明显,而林内松树针叶上则形成较大的水滴,落下后滴溅起较多的土壤颗粒。进一步分析表明,松林的叶滴溅蚀作用及其功效随降雨的强度而改变:在降雨强度很高时,林冠溅蚀作用表现不突出;当降雨强度下降时,林冠溅蚀作用增强;当下小雨时,林冠会产生明显的叶滴溅蚀结果。

观测发现在雨季中后期林地的溅蚀净量高于裸地,产生这一现象同样与林冠有关。在裸地,雨滴受风的影响倾斜撞击地表,使一定比例土壤颗粒沿风的方向飞溅,溅蚀净量并不突出;在林下叶滴垂直下落滴溅地表土壤,土壤颗粒由于坡面较陡而较多地被向下坡向冲溅,使林下有较高的溅蚀净量。

4 结 语

本研究证实了云南松密林具有降低有效降雨量的能力和减少林下累积溅蚀量的净效应,总体上有利于地表侵蚀控制。但它同时产生叶滴溅蚀的负面影响,部分抵销了松林控制侵蚀的积极效果。这一研究结论是在密林下没有灌草植物影响的情况下得到的。根据研究<sup>[6]</sup>,在这一地区的疏林地段,林下长有草本层,草丛可以减少 67% 以上的溅蚀量,具有更为明显的侵蚀控制潜力。实验发现<sup>[7]</sup>,云南松密林的综合水文效应的最终效果是减少了 43% 的地表土壤流失量,而且林地的土壤侵蚀为滴溅限制型侵蚀;松林控制土壤侵蚀主要不是通过减少地表径流,而更多是通过减少土壤表面溅蚀程度来实现。这些结果与松林截留降雨和控制溅蚀总量的水文效应有关,表明了松林更为突出的积极作用。

参 考 文 献

[ 1 ] Ward, R. C., Robinson, M.. *Principles of Hydrology* (3rd edition). London: McGraw—Hill Book Company (UK) Limited, 1990

[ 2 ] Morgan, R. P. C.. *Soil Erosion and Conservation* (2nd edition). New York.: John Wiley & Sons, 1995

[ 3 ] 周 跃. Effects of the Yunnan Pine (*Pinus yunnanensis*, French) Forest on Soil Erosion Control and Soil Reinforcement in the Hutiaoxia Gorge, Southwest China (博士学位论文). Hull: the University of Hull, U. K., (英国赫尔大学)1997

[ 4 ] Chapman, G.. Size of raindrops and their striking forces at the soil surface in a red pine plantation. *Trans. Am. Geophys. Union* 29, 1948, 664~670

[ 5 ] Schottman, W. R.. Estimation of the Penetration of High—Energy Raindrops trough a Plant Canopy. (Ph. D. thesis), N. Y. (Ithaca): Cornell University, 1978

[ 6 ] 周 跃. Case Study on Effect of Yunnan Pine Forest on Erosion control. 成都: 西南交通大学出版社, 1999

[ 7 ] 周 跃, Watts, D.. 高山峡谷区云南松林土壤侵蚀控制的水文效应. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998, 4 (3): 31~38

作者简介 见本刊(原刊名《山地研究》)1999, 17(1): 8

EFFECT OF YUNNAN PINE FOREST CANOPY ON SOIL EROSION

ZHOU Yue<sup>1</sup> LI Hong-wei<sup>2</sup> XU Qiang<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Yunnan Institute of Geography, Kunming, 650223; <sup>2</sup> Yunnan Institute of Forest Investigation, Planning and Design, Kunming, 650051; <sup>3</sup> Yunnan Normal University, Kunming, 650223)

**Abstract** Rain is a main cause of soil erosion. Forest canopy can reduce effective rainfall by its interception, and curtail impacting energy of raindrops to splash soil particles. On the other hand, canopy also produces large-size leave drops and causes canopy splash erosion. This study proves exist of these effects in the Yunnan pine forest. As field experiment indicated, the canopy interception of the forest averaged 36.29%, and effective rainfall under the canopy was only 63.71% of the rainfall. The total accumulated splash amount were 4.94kg/m<sup>2</sup> under the forest, showing a 19.28% of reduction splash detachment in the forest. The splash detachment amount over each stage of the rain season, however, were much higher under the forest than on the bare land, and the figure in the forest was 2.6 times greater than that at the later rain stage. It is suggested that, the forest is provided with effect of rainfall interception and net effect of reducing splash soil erosion, but it also affects negatively on the soil particles by causing canopy splash detachment.

**Key Words** Alpine gorges, Yunnan pine forest, splash detachment control